

Г.Р. Аллаярова, Т.К. Ларионова, Р.А. Даукаев,
Е.Е. Зеленковская, С.Р. Афонькина, Э.А. Аухадиева,
Д.Э. Мусабилов

DOI 10.25789/YMJ.2023.81.15

УДК 574.2; 613.27

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВОЛОС ДЕТЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Методом атомно-абсорбционной спектрометрии определено содержание Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Mn, Pb, Cd, в волосах новорожденных детей; оценена динамика содержания тяжелых металлов в волосах детей от рождения до шестилетнего возраста; проведен сравнительный анализ уровня микроэлементов в волосах детей дошкольного возраста, проживающих в различных регионах Республики Башкортостан. К шести годам в волосах уфимских детей выявлено пониженное содержание эссенциальных элементов: Fe, Mn и Zn; токсичных металлов: Pb и Cd; условно-эссенциальных: Ni и Cr по сравнению со средним физиологическим уровнем. В волосах детей, проживающих в регионе с развитой горнорудной промышленностью, напротив, происходит накопление эссенциальных элементов: Fe и Mn; условно-эссенциального элемента – Cu и Ni и токсичного – Pb.

Ключевые слова: тяжелые металлы, биосреды, волосы детей, макроэлементы, микроэлементы.

The content of (Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Mn, Pb, Cd) in the hair of newborns was determined by atomic absorption spectrometry; the dynamics of the content of heavy metals in the hair of children from birth to six years of age was assessed; a comparative analysis of the level of trace elements in the hair of preschool children living in different regions of the Republic of Bashkortostan was carried out. By the age of six, the hair of Ufa children revealed a reduced content of essential elements: Fe, Mn and Zn; toxic metals: Pb and Cd; conditionally essential: Ni and Cr compared with the average physiological level. In the hair of children living in a region with a developed mining industry, on the contrary, there is an accumulation of essential elements: Fe and Mn; conditionally essential element - Cu and Ni and toxic - Pb.

Keywords: heavy metals, biological media, children's hair, macroelements, microelements.

Введение. Одной из ключевых характеристик общества является состояние здоровья населения, которое зависит от неблагоприятного воздействия среды обитания [7, 8]. Ежегодно миллионы тонн загрязняющих веществ поступают в атмосферу населенных пунктов из различных источников выбросов. Лидирующее место среди экотоксикантов принадлежит тяжелым металлам: свинцу, кадмию, хрому. Потенциальными источниками загрязнения окружающей среды химическими элементами являются нефтеперерабатывающие предприятия, горно-обогатительные комбинаты, рудные месторождения, промышлен-

ное освоение которых способствует загрязнению окружающей среды и накоплению их в токсичных концентрациях в биологических средах [9].

Организм детей наиболее восприимчив к неблагоприятным воздействиям окружающей среды, он обладает повышенной чувствительностью к недостаточному или избыточному поступлению извне химических элементов как токсичных, так и эссенциальных [2, 5]. Пути поступления химических элементов в организм ребенка разнообразны, в основном металлы поступают с пищей и водой, меньше – с вдыхаемым воздухом и через кожу [14].

Для оценки влияния среды обитания с повышенным содержанием тяжелых металлов на организм человека используют элементный анализ волос [1, 4, 6, 10]. Характерной особенностью детского населения является более выраженная реакция на вредные факторы среды из-за низкого порога чувствительности к воздействию тяжелых металлов, малой мобильности и большей привязанности к определенной местности.

Цель работы: изучить накопление как эссенциальных, так и токсичных элементов в волосах детей от рождения до 6 лет, проживающих в Республике Башкортостан в районах с различной экологической и

природной геохимической ситуацией.

Материалы и методы исследования. Методом атомно-абсорбционной спектрометрии проанализировано 834 пробы детских волос, дана количественная оценка накопления 10 микроэлементов в волосах детей дошкольного возраста, проживающих в различных районах республики.

Образцы волос новорожденных детей (n=129) отбирали в родильных домах, пробы волос детей первого года жизни (n=19) – в детских медицинских учреждениях, волосы детей 3-6 лет (n=686) – в детских дошкольных учреждениях. От руководителей учреждений и родителей детей получено информированное согласие на участие в исследованиях. Анализ проб волос проведен в аккредитованном Испытательном центре ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» (№ РОСС RU.0001.510411) в соответствии с действующими нормативными документами. Содержание химических элементов определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборах с пламенной и электротермической атомизацией. Результаты анализа волос новорожденных детей сравнивали с контрольной группой (г. Бирск), детей 3-6 лет – с референтными значениями, приведенными в работах А.В. Скального [12].

ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» Роспотребнадзора: **АЛЛАЯРОВА Гузель Римовна** – к.б.н., с.н.с., guzel-all@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0838-3598>, **ЛАРИОНОВА Татьяна Кенсариновна** – к.б.н., доцент, в.н.с., <https://orcid.org/0000-0001-9754-4685>, **ДАУКАЕВ Рустем Аскарлович** – к.б.н., зав. отделом, <http://orcid.org/0000-0002-0421-4802>, **ЗЕЛЕНКОВСКАЯ Евгения Евгеньевна** – м.н.с., <https://orcid.org/0000-0001-7682-2703>, **АФОНЬКИНА Светлана Разифовна** – к.х.н., с.н.с., **АУХАДИЕВА Эльвира Ахатовна** – м.н.с., <https://orcid.org/0000-0002-6793-6992>, **МУСАБИРОВ Дмитрий Эдуардович** – м.н.с., <https://orcid.org/0000-0003-2042-8162>.

Статистические расчеты производили с помощью программного пакета IBM Statistics 21.0 («IBM», США). Проверку распределения на нормальность осуществляли с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Полученные при анализе данные обрабатывали с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. В работе изучены волосы новорожденных детей, проживающих в крупном промышленно-развитом городе Уфа, в горнорудной геохимической провинции городе Сибай и небольшом городе Бирск с благоприятной экологической ситуацией (контрольная группа). Результаты определения представлены в табл. 1.

Экологическая ситуация в Бирске значительно лучше уфимской, но питьевая вода в городе обладает высокой жесткостью. Подтверждением этому служат выявленные в наших исследованиях особенности накопления кальция и магния в волосах детей в зависимости от места проживания. В связи с повышенным уровнем кальция в питьевой воде Бирска, происходит накопление этого элемента в волосах новорожденных – в 1,8 раза выше, чем в аналогичных пробах из Уфы и Сибая. Помимо кальция в волосах новорожденных детей из Бирска и Уфы происходит накопление магния, содержание которого в 2,2 раза выше, чем у детей из г. Сибай.

Цинк – важнейший элемент, его биологическая роль была установлена более 100 лет назад, он входит в состав ферментов, принимающих участие во всех видах обмена: процессах регенерации кожи, росте волос и ногтей, секреции сальных желез, поддержании иммунной защиты организма [1, 13]. При недостатке цинка у детей нарушается пространственное мышление, ухудшается память и способность к обучению, так как замедляется синтез белка и нуклеиновых кислот. Избыточное поступление цинка сопровождается снижением уровня кальция не только в крови, но и в костях, одновременно нарушается усвоение фосфора, что приводит к остеопорозу. В исследованных пробах волос отмечается разница в содержании цинка. В волосах новорожденных из Уфы цинка в 3,7 раза больше, чем у детей из Бирска. Максимальное содержание цинка в волосах новорожденных в Сибее в два раза ниже, чем в Бирске, в восемь раз – чем в Уфе, зато минимальная концентрация превышает показатели

Содержание химических элементов в волосах новорожденных детей, мкг/г

Элемент	Статистический параметр				
	Город	M	$\pm m$	Min	Max
Ca	Сибай	717,0	60,0	217,10	1239,9
	Бирск	1339,0	258,6	351,4	3366,7
	Уфа	729,8	18,9	19,8	2483,8
Mg	Сибай	700,9	54,9	163,8	1052,7
	Бирск	1554,5	6,8	327,0	3983,3
	Уфа	1547,0	4,5	93,11	5205,5
Fe	Сибай	28,9	5,8	10,5	122,6
	Бирск	132,6	2,6	18,5	716,7
	Уфа	71,9	2,6	14,3	229,3
Zn	Сибай	184,3	10,2	98,3	268,1
	Бирск	148,3	12,6	29,9	558,3
	Уфа	550,5	11,4	8,1	2202,7
Cu	Сибай	7,10	0,36	3,94	9,69
	Бирск	8,06	1,20	1,07	30,60
	Уфа	5,76	1,32	0,19	21,20
Ni	Сибай	3,00	0,41	0,86	6,68
	Бирск	4,23	0,90	0,38	20,60
	Уфа	5,88	0,46	0,38	23,80
Cr	Сибай	61,00	8,03	11,74	140,36
	Бирск	47,49	0,90	6,66	200,00
	Уфа	54,73	0,09	0,59	179,50
Mn	Сибай	1,21	0,21	0,18	3,11
	Бирск	2,92	0,10	0,31	16,60
	Уфа	2,64	0,87	0,22	75,90
Pb	Сибай	2,30	0,37	0,83	7,29
	Бирск	1,30	0,09	0,37	5,90
	Уфа	12,08	0,11	0,00	40,50
Cd	Сибай	0,090	0,010	0,020	0,240
	Бирск	0,210	0,001	0,010	1,540
	Уфа	0,080	0,040	0,000	0,730

Бирска в 3, а Уфы в 12 раз.

Железо является критически важным элементом, который участвует в целом ряде биологических реакций: процессах выделения энергии, ферментативных реакциях, в метаболизме холестерина [1]. Как дефицит, так и избыток железа отрицательно влияет на состояние здоровья человека. Недостаток железа у детей приводит к железодефицитной анемии, при которой происходит задержка развития и поведенческие отклонения, повышение риска развития атеросклероза, болезней печени и сердца, артритов, диабета [1, 3]. Избыток железа может быть вызван генетическим дефектом, а также встречаться при некоторых типах анемии или порфирии. Дисбаланс меди и никеля может привести к снижению уровня железа. Среднее содержание железа в волосах новорожденных детей Сибая в 2,5 раза ниже, чем в Уфе, и почти в 5 раз ниже, чем в Бир-

ске. Железодефицитные состояния у новорожденных могут быть связаны с соответствующим состоянием матери, либо обусловлены проживанием в геохимической провинции.

Хрому принадлежит важная биологическая роль в организме: биомолекулы, содержащие хром, участвуют в регуляции синтеза жиров и обмене углеводов, взаимодействуют с инсулином в процессах углеводного обмена, регулируя уровень сахара в крови [1]. Дефицит хрома может спровоцировать развитие сахарного диабета, привести к развитию атеросклероза, ишемической болезни сердца, появлению беспокойства, бессоннице, головным болям. Токсическое действие хрома зависит от его валентности: шестивалентный хром более опасен для организма, он обладает общетоксическим, нефротоксическим и гепатотоксическим действием. Избыток хрома в организме приводит к астматическому

Таблица 1

бронхиту, бронхиальной астме и онкологическим заболеваниям [3]. Повышенная концентрация хрома в биосредах новорожденных обычно быстро снижается в течение первых месяцев жизни. В волосах детей из Сибая концентрация хрома в 1,3 раза выше, чем в контрольной группе. Минимальная концентрация хрома в волосах новорожденных Сибая превышает показатели Бирска почти в два раза, Уфы - в 20 раз.

Медь играет важную роль в поддержании здоровой иммунной системы, входит в состав витаминов, гормонов, ферментов, участвует в процессах, укрепляющих костную ткань. Она повышает резистентность организма к инфекциям, связывает микробные токсины и усиливает действие антибиотиков, способствует усвоению железа [1]. Дефицит меди развивается на фоне недоношенности, неправильного питания, лечения препаратами железа и цинка и может вызывать железодефицитную анемию, остеопороз, аневризм артерий. При сравнительной оценке содержания меди обнаружено, что в волосах новорожденных из Уфы среднее содержание меди в 1,4 раза меньше, чем в аналогичных пробах контрольной группы. Максимальное содержание меди в волосах новорожденных Сибая ниже, чем в Бирске и Уфе, в 2-3 раза, минимальная концентрация превышает показатели Бирска в 3, а Уфы - в 20,7 раза.

Свинец – один из наиболее токсичных микроэлементов, обладающих способностью к кумуляции в организме человека. Повышенный уровень свинца негативно влияет на нервную и сердечно-сосудистую системы, почки. Избыточное содержание свинца приводит к снижению кальция, железа, цинка, селена в органах и тканях человека. Так как цинк и кальций являются антагонистами свинца, его повышенные концентрации вытесняют цинк, кальций, железо, нарушая их физиологическую роль в организме. При одновременном поступлении цинка и свинца накопление свинца в организме уменьшается [11].

Свинец обнаружен на высоком уровне (12,08 мкг/г) в пробах волос детей г. Уфы, что в 9,3 раза больше в сравнении с содержанием в биопробах детских волос группы контроля (1,30 мкг/г). Так как свинец является антагонистом кальция, то при повышенном содержании свинца в волосах уфимских новорожденных отмечается пониженное накопление кальция. Важно отметить, что при низкой концен-

трации железа в организме (в исследуемых образцах волос новорожденных из Уфы и Сибая его содержалось меньше, чем в группе контроля) увеличивается риск токсического действия свинца (содержание свинца в биопробах детских волос г. Уфы повышено).

Марганец защищает организм от вредного воздействия перекисных радикалов, отвечает за стабильность структуры клеточных мембран, мышечной и соединительной ткани. Известна роль марганца в метаболизме клетки, ферментативных реакциях. Недостаточность марганца вызывает анемию, задержку роста, уменьшение массы тела. Гипоманганоз у детей при-

водит к нарушению углеводного обмена, который проявляется аллергиями, дерматитами, нарушением мышечного тонуса, вялостью, утомляемостью, задержкой роста волос и ногтей. [11]. В волосах новорожденных детей Сибая концентрация марганца в 1,7 раза ниже, чем в контрольной группе.

Никель относится к условно-эссенциальным элементам, но в то же время является наиболее опасным загрязнителем окружающей среды. Концентрация никеля в биологических средах детей г. Уфы в 1,7 раза выше, чем в контрольной группе, а в волосах детей из г. Сибая в 1,4 раза ниже. Нефтехимические предприятия являют-

Таблица 2

Содержание металлов в волосах новорожденных и детей дошкольного возраста, проживающих в г. Сибай, мкг/г

Элемент	Статистический параметр				
	Возраст	М	±m	Min	Max
Ca	При рождении	717,0	60,0	217,1	1239,9
	Через год	1315,8	258,6	138,1	6434,6
	В возрасте 3-6 лет	522,1	18,9	492,8	567,5
Mg	При рождении	700,9	54,9	163,8	1052,7
	Через год	143,8	6,8	30,3	299,2
	В возрасте 3-6 лет	43,3	4,5	33,4	51,2
Fe	При рождении	28,91	5,8	10,5	122,7
	Через год	10,31	2,6	2,0	34,9
	В возрасте 3-6 лет	46,55	2,6	42,6	52,1
Zn	При рождении	184,3	10,2	98,3	268,1
	Через год	135,0	12,6	58,3	259,7
	В возрасте 3-6 лет	106,10	11,4	82,5	128,1
Cu	При рождении	7,1	0,4	3,9	9,7
	Через год	8,5	1,2	3,5	14,7
	В возрасте 3-6 лет	10,2	1,3	7,8	13,3
Ni	При рождении	3,0	0,4	0,9	6,7
	Через год	2,2	0,9	0,3	6,1
	В возрасте 3-6 лет	1,5	0,5	0,6	2,3
Cr	При рождении	61,0	8,0	11,7	140,4
	Через год	5,5	0,9	2,1	10,5
	В возрасте 3-6 лет	1,1	0,1	1,0	1,3
Mn	При рождении	1,2	0,2	0,2	3,1
	Через год	0,9	0,1	0,3	2,2
	В возрасте 3-6 лет	3,5	0,9	2,4	5,7
Pb	При рождении	2,3	0,4	0,8	7,3
	Через год	4,9	0,1	0,2	16,0
	В возрасте 3-6 лет	2,7	0,1	2,6	3,0
Cd	При рождении	0,10	0,01	0,02	0,24
	Через год	0,400	0,001	0,030	1,690
	В возрасте 3-6 лет	0,10	0,04	0,07	0,23

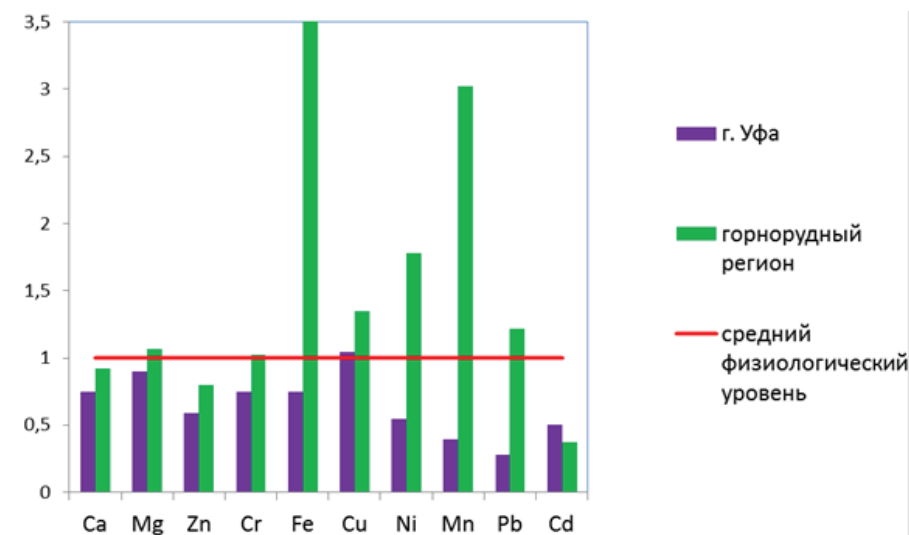
ся источником поступления никеля в окружающую среду. Этим можно объяснить высокие концентрации данного металла в волосах новорожденных Уфы по сравнению с контрольной группой.

Если избыток или дефицит макроэлементов и эссенциальных микроэлементов еще можно считать физиологическим или связанным с активацией окислительно-восстановительных процессов в организме новорожденного в процессе роста и развития, то накопление токсичных металлов (кадмий, свинец) носит скорее патологический характер. В пробах детских волос Сибая и Уфы содержание кадмия было в 2,3-2,6 раза ($p < 0,05$) меньше, чем в аналогичных пробах контрольной группы. Волосы представляют собой дополнительный путь выведения для кадмия. Высокие концентрации кадмия в волосах детей постепенно снижаются в течение жизни.

Для дальнейшего более углубленного изучения макро- и микроэлементов в организме детей нами было проведено исследование их содержания через год после первоначального исследования и в возрасте 3-6 лет, проанализирована динамика их изменения (табл. 2). Основные статистические параметры распределения содержания металлов в волосах ребенка изучены на примере детей, проживающих в г. Сибай.

Если судить по средним концентрациям, то к концу первого года жизни в волосах детей возросло содержание экотоксикантов и металлов, обусловленных проживанием в геохимической провинции, т.е. свинца, кадмия и меди. Но к дошкольному возрасту содержание свинца и кадмия снижается в 1,8 и в 3,1 раза соответственно. Возможно, происходит адаптация организма к окружающей среде.

У детей к возрасту 3-6 лет происходит снижение содержания хрома, никеля, магния и цинка. Средний уровень хрома снизился почти в 11 раз к первому году жизни и в 55 раз к возрасту 3-6 лет, магния - почти в 5 раз к году и в 16 раз к возрасту 3-6 лет, никеля - примерно в 2 раза, цинка - в 1,7 раза. Среднее содержание меди увеличилось в 1,4 раза. Средний уровень свинца, кадмия и кальция увеличивается к первому году жизни, но к 3-6 годам постепенно снижается. Уровень железа и марганца в волосах ребенка к концу первого года жизни снижается, но к дошкольному возрасту вновь возрастает, что, возможно, связано не только с повышенной потребностью организма в



Уровень микроэлементов в волосах детей дошкольного возраста, в долях от среднего физиологического уровня

Таблица 3

Содержание химических элементов в волосах детей 3-6 лет, проживающих в крупном промышленном городе и в регионе с развитой горнорудной промышленностью, мкг/г

Элементы	Волосы детей 3-6 лет		
	Средний физиологический уровень (по А.В. Скальному, 2003)	Крупный промышленный г. Уфа	Регион с развитой горнорудной промышленностью, г. Сибай
Ca	498,2	372,0	457,9
Mg	47,0	42,1	49,9
Fe	26,0	19,4	91,1
Zn	138,7	81,9	111,2
Cu	9,5	9,9	12,8
Cr	0,99	0,74	1,01
Ni	0,55	0,30	0,98
Mn	1,01	0,40	3,05
Pb	2,66	0,74	3,23
Cd	0,24	0,12	0,09

железе, но и с формированием других «тканевых» депо железа.

Проведена сравнительная характеристика уровня микроэлементов в волосах детей дошкольного возраста, проживающих в городах Уфа и Сибай в сравнении с референтными значениями, полученными А.В. Скальным [12]. Полученные результаты представлены на рисунке и в табл.3.

В волосах уфимских детей выявлено пониженное содержание железа (в 6,6 раза), свинца (в 3,6), марганца (в 2,5 раза), кадмия (в 2,0 раза), никеля (в 1,8 раза), цинка (в 1,7 раза), кальция (в 1,3 раза) и хрома (в 1,3 раза) по сравнению со средним физиологическим уровнем.

В волосах детей, проживающих в

регионе с развитой горнорудной промышленностью, выявлено повышенное содержание железа (в 3,5 раза), марганца (в 3,0 раза), меди (в 1,3 раза), свинца (в 1,2 раза) и несколько пониженное - цинка. Выявленный высокий уровень железа в пробах волос может быть связан с пониженным содержанием его в крови вследствие нерационального питания. Повышенный уровень меди, вероятно, связан с геохимическими особенностями исследуемого региона.

В настоящем исследовании не анализировалась заболеваемость детского населения, связанная с элементарным гомеостазом и полом ребенка. Эти вопросы могут стать предметом дальнейшего изучения.

Заключение. Проведенные исследования выявили особенности элементного гомеостаза детского населения, проживающего в различных по экологическому состоянию районах Республики Башкортостан. Элементный состав волос детей зависит от региона проживания, степени и вида загрязнения среды обитания, качества питьевой воды, синергизма и антагонизма элементов в организме, и меняется с возрастом ребенка.

Литература

1. Биомониторинг содержания тяжелых металлов в волосах детского населения на территории Арктической зоны России / Журба О.М. [и др.]. // Экология человека. 2018. № 5. С. 16–21. DOI: 10.33396/1728-0869-2018-5-16-21.
2. Ефимова Н.В., Мельникова И.А. Оценка кардио-гемодинамических показателей у детей Крайнего Севера и Сибири // Там же. 2017. № 2. С. 10–16.
3. Калетина Н.И. Токсикологическая химия. Метаболизм и анализ. ГЭОТАР-Медиа, 2008. 1016 с.
4. Лисецкая Л.Г., Ефимова Н.В. Региональные показатели содержания микроэлементов в волосах детского населения иркутской области // Гигиена и санитария. 2016. № 3. Т.95 С. 266-269. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-3-266-269
5. Нифонтова О.Л., Литовченко О.Л., Гудков А.Б. Показатели центральной и периферической гемодинамики детей коренной народности Севера // Экология человека. 2010. № 1. С. 28-32.
6. Поиск адекватных биомаркеров для выявления влияния химических факторов на здоровье населения / В.С. Рукавишников [и др.] // Казанский медицинский журнал. 2009. № 4. Т.90. С. 473-476.
7. Рахманин Ю.А., Бобровницкий И.П. Научные и организационно-методологические основы интеграции медицины окружающей среды, экологии человека и практического здравоохранения в целях обеспечения активного долголетия человека // Вестник восстановительной медицины. 2018. Т. 1. № 77. С. 2.
8. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения / Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. // Анализ риска здоровья. 2022. № 3. С. 4-20.
9. Региональные особенности содержания металлов в сыворотке крови подросткового населения горнорудного региона / Ю.С. Рафикова [и др.] // Медицина труда и экология человека. 2017. № 2. С. 34-37.
10. Regional features of the content of metals in the blood serum of the adolescent population of the mining region / Rafikova Yu.S. [et al.] Scientific and practical journal "Occupational Health and Human Ecology", 2017. No. 2. P. 34-37.
11. Референтные значения содержания химических элементов в волосах взрослых жителей Республики Татарстан / Агаджанян Н.А. [и др.] // Экология человека. 2016. № 4. С. 38-44. DOI: 10.33396/1728-0869-2016-4-38-44
12. Reference values of the content of chemical elements in the hair of adult residents of the Republic of Tatarstan / Agadzhanian N.A. [et al.] Human Ecology. 2016. No. 4. P. 38-44. DOI: 10.33396/1728-0869-2016-4-38-44
13. Скальный А.В., Киричук А.А. Химические элементы в экологии, физиологии человека и медицине. М., 2020. 209 с.
14. Скальный А.В., Киричук А.А. Chemical elements in ecology, human physiology and medicine. Moscow, 2020. 209 p.
15. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО Центр биотической медицины) // Микроэлементы в медицине. 2003. № 4. С. 55-56.
16. Скальный А.В. Reference values of the concentration of chemical elements in hair obtained by the ICP-AES method (ANO Center for Biotic Medicine). Trace elements in medicine, 2003. No. 4. pp. 55-56.
17. Фролова О.А., Тафеева Е.А., Бочаров Е.П. Региональные особенности содержания цинка в почве, продуктах растительного и животного происхождения // Гигиена и санитария. 2017. № 3. С. 226–229. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-3-226-229
18. Frolova O.A., Tafeeva E.A., Bocharov E.P. Regional features of zinc content in soil, products of plant and animal origin. Hygiene and sanitation, 2017. No. 3. P. 226–229. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-3-226-229
19. Химические элементы в гигиене и медицине окружающей среды / Скальный А.В., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г., Тармаева И.Ю., Киричук А.А. М., 2019.
20. Chemical elements in hygiene and environmental medicine / Skalny A.V., Grabeklis A.R., Skalnaya M.G., Tarmaeva I.Yu., Kirichuk A.A. Moscow, 2019.